

## Az anyagátviteli mód és a nagy hidrogén tartalmú védőgáz hatásai duplex korrózióálló acél hegesztett kötéseire

### Effects of transfer modes and high hydrogen concentration shielding gas on duplex stainless steel welds

ABONYI Gergő<sup>1,2</sup>, VARBAI Balázs<sup>1,3</sup>, MÁJLINGER Kornél<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Anyagtudomány és Technológia Tanszék  
1111, Budapest, Bertalan Lajos utca 7. Tel.+36 1 463 1115, Fax: +36 1 463 1366 E-mail:  
matsci@att.bme.hu, [www.att.bme.hu](http://www.att.bme.hu) E-mail: abgergo8@gmail.com <sup>2</sup>, varbai@eik.bme.hu<sup>3</sup>,  
welding@att.bme.hu<sup>4</sup>

#### ABSTRACT

*In our paper we investigated the effect of high hydrogen content (Ar + 15 vol.% H<sub>2</sub>) shielding gas mixture on 2101 lean duplex gas metal arc welded bead on plate welds. The welds were made with short circuit transfer mode and low heat input (CMT; cold metal transfer) method. On the effect of hydrogen, the weld bead width (max. 40 %) and the penetration depth (max. 141 %) increased. In case of the CMT welded samples, the H<sub>2</sub> in the shielding gas had a deleterious effect on the corrosion resistance (~ 36 %).*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

Kutatásaink során nagy hidrogén tartalmú védőgázkeverék (Ar + 15 térf.% H<sub>2</sub>) hatásait vizsgáltuk 2101-es sovány duplex acél, huzalelektrodás védőgázos hegesztéssel készített varrataira. A hegesztési varratokat rövidzárlatos ívvel és kis hőbevitellel járó (CMT; cold metal transfer) eljárásvaltozattal is meghegesztettük. Hidrogén hatására mindkét eljárás esetében nőtt a varratszélesség (max. 40 %) és a beolvadási mélység (max. 141 %). A korrózióállóság CMT eljárás esetén a H<sub>2</sub> hatására romlott (~36 %).

**Kulcsszavak** Duplex korrózióálló acél, hidrogén tartalmú védőgáz, MAG hegesztés, CMT hegesztési eljárás

## 1. BEVEZETÉS

Duplex korrózióálló acélok huzalelektrodás védőgázos ívhegesztéséhez az argon védőgáz mellett néhány százaléknyi (1-2 %) aktív komponens (legtöbbször O<sub>2</sub>) használata ajánlott, mely segít stabilizálni a hegesztési ívet. Az aktív komponens mellett, az ömledék viszkozitásának csökkentése érdekében nagy (30 %) hélium tartalmú gázkeverékek is használatosak [1]. A megfelelő ausztenit – ferrit arány megtartása érdekében (ideálisan 1:1 arány a duplex korrózióálló acélok esetében) néhány százalék (1-5 %) nitrogén használata is ajánlott [2-6]. Térben középpontos köbös (ferrit) kristályszerkezetű anyagok hegesztése hidrogén tartalmú védőgázzal, a hidrogén okozta elridegedés [7] miatt nem alkalmazható, azonban ausztenites acélok hegesztése esetén a hidrogén növeli a beolvadási mélységet, a varrat keresztmetszetét, és a varratszélességet [8]. Szuperduplex acél hidrogén tartalmú védőgázzal történő TIG-hegesztésére találunk példát az irodalomban [9]. A kutatók azt találták, hogy hidrogéntartalom hatására nőtt a varrat ferrittartalma és a keménysége. Korábbi munkánkban [10] vizsgáltuk a hidrogén hatását 2404 típusú sovány duplex acél MAG-hegesztésekor. Az eredményeink alapján a hidrogén nagymértékben növeli az ívfeszültséget, és ezzel a beolvadási mélységet, miközben a keménységeloszlásra és a szövetszerkezetre nincs számottevő hatással. Jelen kutatásunk 2101 típusú sovány duplex acél huzalelektrodás hegesztésére irányul argon és nagy hidrogén tartalmú (15 %) gázkeverékkel, rövidzárlatos anyagátmenet és különösen kis hőbevitellel járó (CMT; cold metal transfer) eljárás esetén.

## 2. KÍSÉRLETI ANYAGOK ÉS BERENDEZÉSEK

A huzalelektrodás, védőgázos hegesztéshez Fronius TransPuls Synergic 3200 típusú áramforrást használtunk VR 700 CMT típusú előtoló rendszerrel. A hegesztési paraméterek beállításához 97,5 % argon – 2,5 % oxigén jelleggörbét használtunk. A hegesztési paraméterek állandó értéken tartásához ABB IRB 1600 M2004 típusú robotot segítségével végeztük el a hegesztést. A kísérletekhez használt alapanyag (1. táblázat) 1,5 mm vastagságú 2101-es (EN 1.4162) sovány duplex korrózióálló acél. A használt huzalelektroda hagyo-

mányosan duplex acélokhoz ajánlott, ER2209 (22 9 3 N L) anyagminőség, 1,2 mm átmérőben. A hegesztési sebesség  $6,8 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ , a védőgáz térfogatárama  $13 \text{ l} \cdot \text{perc}^{-1}$ , a huzalel tolás sebessége  $2,6 \text{ m} \cdot \text{perc}^{-1}$ , a huzalkinyúlás pedig 10 mm voltak. Rövidzárlatos anyagátmenet esetén a beállított áramerősség 102 A, az ívfeszültség 13,2 V míg CMT eljárás esetén 107 A és 10,1 V.

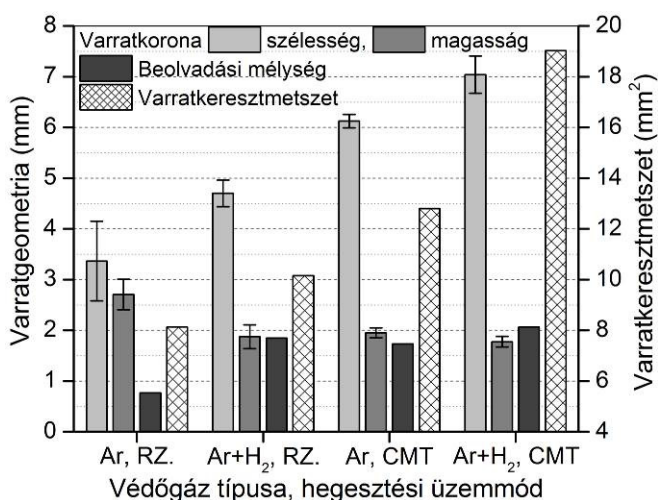
**1. táblázat** Az alapanyag és a huzalelektroda összetétele.

Anyag	Fe	C	N	Cr	Ni	Mo	Mn	Cu	Si
	tömeg %								
<b>2101</b>	bal.	0,03	0,22	21,5	5,7	0,3	5,0	0,4	-
<b>ER2209</b>	bal.	0,03	0,15	22,5	10,0	3,5	2,5	0,5	1,0

A hegesztés közben mért átlagos paramétereket RCU 500i típusú távvezérlő egység segítségével tudtuk leolvasni. A hegesztéseket 4.6 tisztaságú argon és argon + 15 térfogat%  $\text{H}_2$  gázkeverékkel végeztük el. A varratgeometria értékeket 10 pontban, a varrat hossza mentén egyenletesen elosztva, tolómérővel mértük. A beolvadási mélység mérését beágyazott csiszolaton végeztük, Olympus SZX16 típusú sztereomikroszkóppal. A metallográfiai vizsgálatokhoz Olympus PMG3 típusú optikai mikroszkópot használtunk, a minták az előkészítés során  $1 \mu\text{m}$ -es gyémánt szuszpenzió finomságig políroztuk. A duplex szövetszerkezet színes „maratásához” Beraha's típusú marószert (85 ml víz, 15 ml sósav, 1 g kálium-metabiszulfid) használtunk. A Vickers keménységmérés Buehler 1105 típusú berendezésen történt, 1 kg terheléssel. A ferritartalom méréséhez FMP30 típusú Fischer féle ferritszkópot, és JMicroVision képelemző szoftvert használtunk. A ferritartalom meghatározásához ferritszkóppal egy pontban, a varrat közepén, képelemző szoftverrel 10 különböző felvételen mértünk. A képelemző szoftverhez használt felvételeket a varratfémről,  $0,25 \text{ mm}^2$ -es területen készítettük el. A korróziós vizsgálatokat ASTM G48-as szabvány A típusú eljárása szerint, 6 tömeg%-os  $\text{Fe}_3\text{Cl}$  oldatban végeztük, 72 órán keresztül,  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ -on.

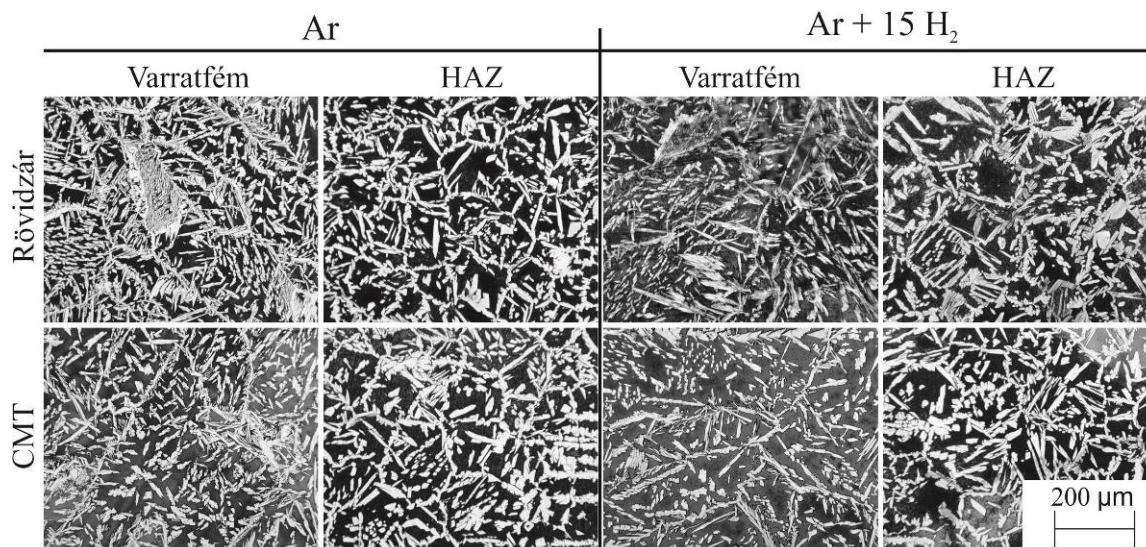
### 3. EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉSÜK

A varratgeometria mérés eredményei az 1. ábrán láthatóak. A védőgázba kevert 15 térfogat% hidrogén hatására, rövidzárlatos anyagátmenet esetén az átlagos ívfeszültség 60 %-kal nőtt, az áramerősség 14 %-kal csökkent. CMT eljárásváltozat esetén az ívfeszültség 40 %-kal nőtt, az áramerősség viszont alig, 1 %-kal csökkent. Rövidzár esetén a hidrogén hatására instabil anyagátmenetet, valamint mindkét eljárás esetén intenzív koromképződést tapasztaltunk. Rövidzárlatos anyagátmenet esetén a hidrogénbe kevert védőgáz növelte a varratkorona szélességét (40 %), a beolvadási mélységet (141 %), a varrat keresztmetszetének területét (25 %) és csökkentette a varratkorona magasságát (31 %). CMT eljárás esetén, hidrogén hatására az előzőkhez hasonlóan – bár kisebb mértékben – nőtt a varratkorona szélessége (15 %), nőtt a beolvadási mélység (19 %), nőtt a varratkeresztmetszet (49 %) és csökkent a varratkorona magassága (- 9 %). Rövidzárlatos anyagátmenet és hidrogénes védőgáz alkalmazásakor hasonló varratgeometriát kaptunk, mint CMT eljárás esetén, tiszta argonnal hegesztve.



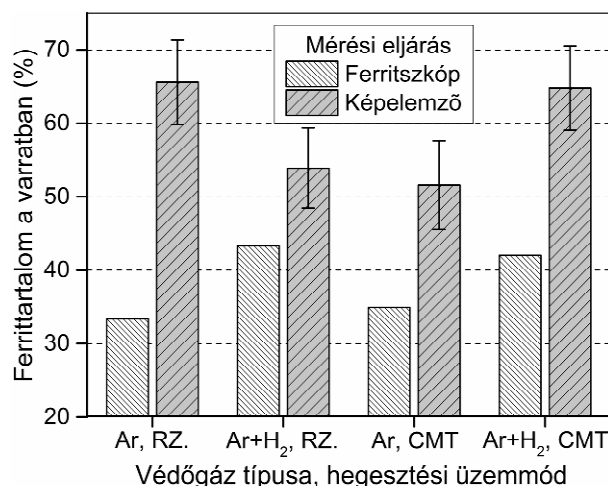
1. ábra. A védőgáz hidrogén tartalmának varratgeometriára gyakorolt hatása rövidzárlatos (RZ.) és CMT üzemmóddal történő hegesztéskor.

A kötések szövetekepei a 2. ábrán láthatók. A ferritszkóppal mért ferrittartalom mind rövidzártos (10 %), mind CMT (7 %) üzemmód esetén nőtt. A képelemző szoftverrel történt mérés eredményei viszont más tendenciát mutatnak (3. ábra), miszerint rövidzártos anyagátmenet esetén a ferrittartalom a varratban hidrogén hatására 12 %-kal csökkent, CMT eljárás esetén 13 %-kal nőtt. Erre az eltérésre magyarázatot ad, hogy a képelemző szoftver a szövetszerkezet színes marataása során készült felvételekből dolgozik, mely felvételek színegyensúlya eltérő lehet. A szövetszerkezeti felvételek (2. ábra) a ferritszkóppal mért eredményeket támasztják alá. A varratfém ausztenit szemcséi minden esetben dendrites szerkezetűek. A hőhatásövezetben (HAZ; heat affected zone) kevesebb az ausztenit, a ferritszemcsék belsejében nem található meg olyan gyakorisággal, mint a varratfémekben. A hőhatásövezet és a varratfém határán Widmanstättén szerkezetű ausztenit látható. Az alapanyag ferrittartalma  $47 \pm 3$  %. A varratfémekben mért, az alapanyaghoz képest csökkentő ferrittartalom a hegesztéshez használt huzal nagy (10 %) nikkel tartalmának tudható be.

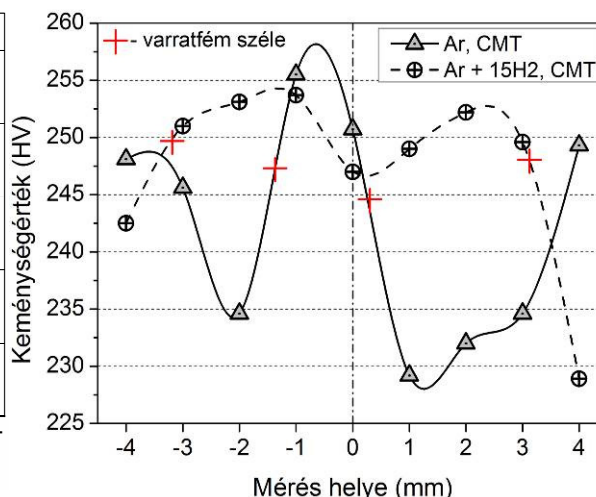


2. ábra. Optikai mikroszkópos felvételek a két üzemmódban hegesztett kötések szövetszerkezeteiről.  
A világos területek az ausztenit, a sötét területek a ferrit fázisok.

A keménységeloszlás mérését csak a CMT eljárással hegesztett varratok esetében végeztük el, a rövidzártos anyagátmenetnél kapott kis beolvadási mérték miatt. Az alapanyag keménysége  $240 \pm 7$  HV. Hidrogén hatására a keménységértékek nem növekedtek a varratfémekben (4. ábra), azonban a varrat gyökoldala kiszélesedett.



3. ábra. A védőgáz hidrogéntartalmának a varratgeometriára gyakorolt hatása különböző hegesztési ben és környezetében a CMT üzemmódban hegesztett varratoknál.



4. ábra. A keménységeloszlás értékei a varratfém-geometriára gyakorolt hatása különböző hegesztési ben és környezetében a CMT üzemmódban hegesztett varratok esetén.

A felületre számolt korróziós fogyás 72 óra után, hidrogén hatására a védőgázban, a rövidzárlattal hegesztett varrat esetében nem változott számottevően, argonnal hegesztve  $0,0304 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ , hidrogénes gázzal  $0,0300 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ . CMT eljárás esetén azonban hidrogénes védőgáznál nagyobb korróziós fogyást tapasztaltunk,  $0,0271 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ -ről  $0,0369 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ .

#### 4. KÖVETKEZTETÉSEK

Munkánk során 2101-es duplex acél huzalelektrodás hegesztését vizsgáltuk argon, és 15 % hidrogén tartalmú védőgázkeverékkel, rövidzárlatos és CMT üzemmód esetén. A hidrogén mindkét eljárás esetén nagymértékben növelte az átlagos ívfeszültséget, ezzel nőtt a varratkorona szélessége (~ 40 és 15 %), nőtt a beolvadási mélység (~140 és 20 %) és csökkent a varratkorona magassága (~30 és 10 %). Hidrogén tartalmú védőgáz esetében átlagosan 10 %-kal nőtt a varratfémekben mérhető ferrittartalom. A ferrittartalom meghatározására a képelemző szoftver a színes maratás miatt nem volt megfelelő. A hidrogén tartalmú védőgáz a varratfémekben mérhető keménységeloszlásra nem volt számottevő hatással. A szövetszerkezetben, optikai mikroszkóppal, kiválások, folytonossági hiányok nem láthatóak. A korrózióállóságra csak a CMT eljárással hegesztett varrat esetén volt hatása a nagy hidrogén tartalmú védőgáznak, mely esetben a felületre számolt korróziós fogyás 36 %-kal megnőtt.

#### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a kutatás a *Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült* (BO/00294/14), továbbá a Projekt a *Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával az NKFI Alapból valósult meg* (NKTH OTKA PD 120865). A védőgázkeveréket köszönjük a Linde Gáz Magyarország Zrt. munkatársainak. A metallográfiai csiszolatok elkészítésében nyújtott segítségét köszönjük Dr. Fábián Enikő Rékának.

#### HIVATKOZÁSOK

- [1] Valiente Bermejo, M. A. A., Karlsson, L., Svensson, L.-E. E., Hurtig, K., Rasmuson, H., Frodigh, M., & Bengtsson, P. (2015). Effect of shielding gas on welding performance and properties of duplex and superduplex stainless steel welds. *Welding in the World*, 59(2), 239–249.
- [2] Hertzman, S., Pettersson, R. J., Blom, R., Kivineva, E., & Eriksson, J. (1996). Influence of shielding gas composition and welding parameters on the N-content and corrosion properties of welds in N-alloyed stainless steel grades. *ISIJ International*, 36(7), 968–976.
- [3] Lőrinc Zsuzsanna, Dobránszky János: LDX2101 és 2205 típusú duplex acél lézersugaras és volfrám-elektrodás hegesztése. Konferencia kiadvány, 27. Hegesztési Konferencia, Budapest, 2014, pp. 85-90.
- [4] Dobránszky, J., Sándor, T., Nagy-Hinst, A., Eichhardt, A G, Gyura, L (2007). Weld Pool Characteristics of the ATIG-Welded Joints. In: Duplex 2007: International Conference and Expo, 2007.06.18-2007.06.20., Grado, Italy.
- [5] Dobránszky, J., Lőrinc, Z., Gyimesi, F., Szigethy, A., & Bitay, E. (2015). Laser welding of lean duplex stainless steels and their dissimilar joints.
- [6] Tamás, S. (2010). Korszerű duplex korrózióálló acélok hegeszthetőségi kérdései. Jubileumi Hegesztési Konferencia Budapest, 25, 19–21.
- [7] Dr. Baránszky-Jób Imre, Dr. Rittinger János: Hegesztési kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985, pp. 85-93.
- [8] Tušek, J., & Suban, M. (2000). Experimental research of the effect of hydrogen in argon as a shielding gas in arc welding of high-alloy stainless steel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 25(4), 369–376.
- [9] Kordatos, J. D., Fournalis, G., & Papadimitriou, G. (1999). The Effect of Hydrogen and Cooling Rate on the Mechanical and Corrosion Properties of SAF 2507 Duplex Stainless Steel Welds. *Materials Science Forum*, 318–320, 615–620.
- [10] Varbai, B., Májlínger K. (2016). Effects of high concentration hydrogen during GMA welding of duplex stainless steel. Proceedings of the 4th International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME 2016). Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2016.10.13-2016.10.15. Debrecen: University of Debrecen Faculty of Engineering, 2016. pp. 578-583.